

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

**SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ ŠUMARSTVA**

**SMJER: TEHNIKE, TEHNOLOGIJE I MENADŽMENT U ŠUMARSTVU**

**IVAN KRIŽANIĆ**

**MORFOLOŠKA RAŠČLAMBA HARVESTERSKIH GLAVA**

**DIPLOMSKI RAD**

**ZAGREB, 2013.**

**ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU**

**ŠUMARSKI ODSJEK**

**MORFOLOŠKA RAŠČLAMBA HARVESTERSKIH GLAVA**

**DIPLOMSKI RAD**

Diplomski studij: Šumarstvo, smjer Tehnike, tehnologije i menadžment u šumarstvu

Predmet: Mehanizacija pridobivanja drva

Ispitno povjerenstvo:

1. izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
2. prof. dr. sc. Dubravko Horvat
3. Marko Zorić, mag. ing. silv.

Student: Ivan Križanić

JMBAG: 0068024674

Broj indeksa: 218/2011

Datum odobrenja teme: 27. 05. 2013.

Datum predaje rada: 09. 07. 2013.

Datum obrane rada: 12. 07. 2013.

**Zagreb, srpanj, 2013.**

## Ključna dokumentacijska kartica

Naslov	Morfološka raščlamba harvesterskih glava
Title	Morphological analysis of harvester heads
Autor	Ivan Križanić
Adresa autora	Donje selo 6, Stružec, 44317 Popovača
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	izv. prof. dr. sc. Marijan Šušnjar
Izradu rada pomogao	Marko Zorić, mag. ing. silv.
Godina objave	2013.
Obujam	I – V + 37 str. + 1 tablica + 33 slike + 35 navoda literature
Ključne riječi	Harvesterska glava, morfološka analiza
Key words	Harvester head, morphological analysis
Sažetak	<p>Cilj je ovoga diplomskog rada izvršiti morfološku analizu različitih tipova harvesterskih glava te na osnovu rezultata ukazati na posebnosti njihovih dimenzijskih i tehničko-tehnoloških značajki te ekološku pogodnost harvesterskih glava za izvođenje radova.</p> <p>Morfološkom analizom utvrđuje se trenutačno stanje, svojstva i zakonitosti, ali i povijesni te mogući tijek razvoja harvesterskih glava kao oruđa za sječu i izradbu drva. Rezultati provedenih istraživanja mogu poslužiti kao pomoć šumarskim stručnjacima pri odabiru novih oruđa.</p> <p>Harvesterske glave zbog svoje konstrukcije mogu služiti kao višenamjenska oruđa (alati) u radovima pridobivanja drva, ali i u uzgojnim radovima. Provedenom morfološkom analizom nekih značajki harvesterskih glava utvrđeno je da se harvesterske glave trebaju promatrati kao zasebna skupina oruđa (alata) za sječu i izradu drva tj. da ih se može promatrati odvojeno od samih harvestera.</p> <p>Sječivi promjer, promjer prerezivanja, promjer kresanja, sila valjaka ovise o masi harvesterske glave. Stoga je potrebo prilikom odabira harvesterske glave obratiti pozornost na sastojinske uvjete u kojima bi se provodila strojna sječa i izrada drva.</p> <p>Istraživani promjeri ne ovise o snazi lančane pile harvesterske glave, kao što i snaga lančane pile i brzina valjaka ne ovise o masi harvesterske glave.</p> <p>Sila valjaka, brzina valjaka, snaga lančane pile harvesterske glave ne ovise o radnom tlaku potrebnom za pogona harvesterske glave. Također brzina valjaka ne ovisi o protoku ulja u harvesterskoj glavi.</p>

## Kazalo sadržaja

Ključna dokumentacijska kartica .....	I
Kazalo sadržaja .....	II
Popis slika .....	III
Popis tablica .....	IV
Predgovor .....	V
1. Uvod .....	1
1.1 Harvesterska glava.....	3
2. Cilj istraživanja.....	17
3. Metode istraživanja .....	18
3.1 Morfološka analiza .....	23
4. Rezultati .....	26
5. Zaključak .....	34
6. Literatura .....	35

## Popis slika

- Slika 1. Ručna sječa i izradba drva
- Slika 2. Ručno-strojna sječa i izradba drva
- Slika 3. Strojna sječa i izradba drva
- Slika 4. Osnovni sustavi pridobivanja drva (Izvor: Poršinsky 2007 prema Heinimann 2000)
- Slika 5. Metode izradbe drva (Izvor: Poršinsky 2007)
- Slika 6. The Busch Combine (Izvor: Drushka i Kontinen 1997)
- Slika 7. Prva sječna glava (Izvor: Drushka i Kontinen 1997)
- Slika 8. Finko harvesterska glava (Izvor: Drushka i Kontinen 1997)
- Slika 9. Harvesterska glava sa lančanom pilom
- Slika 10. Sječna glava sa škarama
- Slika 11. Sječna glava sa cirkularnom pilom
- Slika 12. Sastavni dijelovi jednozahvatne harvesterske glave (Izvor: Uusitalo 2010)
- Slika 13. Princip mjerenja promjera (Izvor: Uusitalo 2010)
- Slika 14. Računalni sustav
- Slika 15. Harvesterska glava za pridobivanje energijskog drva
- Slika 16. Harvesterska glava s taktom tehnologijom (Izvor: Uusitalo 2010)
- Slika 17. Prikaz tretiranja panjeva zaštitnim sredstvima prilikom sječe stabala (Izvor: Uusitalo 2010)
- Slika 18. Prikaz obilježavanja trupaca bojom prilikom prerezivanja stabla pomoću harvester (Izvor: Uusitalo 2010)
- Slika 19. Harvesterska glava za eukaliptus
- Slika 20. Novi sustav za mjerenje sortimenata
- Slika 21. Ovisnost sječivog promjera o masi harvesterske glave
- Slika 22. Ovisnost promjera prerezivanja o masi harvesterske glave
- Slika 23. Ovisnost promjera kresanja o masi harvesterske glave
- Slika 24. Ovisnost sječivog promjera o snazi pile lančanice
- Slika 25. Ovisnost promjera prerezivanja o snazi pile lančanice
- Slika 26. Ovisnost promjera kresanja o snazi pile lančanice
- Slika 27. Ovisnost snage pile lančanice o masi harvesterske glave
- Slika 28. Ovisnost snage valjaka o masi harvesterske glave
- Slika 29. Ovisnost brzine valjaka o masi harvesterske glave
- Slika 30. Ovisnost sile valjaka o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterske glave
- Slika 31. Ovisnost brzine valjaka o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterske glave
- Slika 32. Ovisnost snage lančane pile o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterske glave
- Slika 33. Ovisnost brzine valjaka o protoku ulja u harvesterskoj glavi

## Popis tablica

Tablica 1. Baza podataka o harvesterskim glavama

## Predgovor

*Ovaj rad je izrađen na Zavodu za šumarske tehnike i tehnologije Šumarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu.*

*Zahvaljujem mentoru izv. prof. dr. sc. Marijanu Šušnjaru, te Marku Zoriću, mag. ing. silv. na ukazanoj pomoći i savjetima pri izradi ovoga rada.*

*Posebno se zahvaljujem svojim roditeljima što su mi omogućili studiranje i bili uz mene cijeli studij.*

*Veliku zahvalu dugujem bratu, djevojci i ostatku obitelji zbog podrške i pomoći tijekom studija.*

Ivan Križanić

## 1. Uvod

Pridobivanje drva kao proces proizvodnje šumskih sortimenata, sastoji se od sječe i izradbe te transporta drva, sječa i izradba te transport drva, u prošlost su bili vremenski odvojeni, dok se danas najčešće izvode usporedno (Krpan 1992). Sječa i izradba je prva faza pridobivanja drva, koja obuhvaća niz postupaka kojima se dubeće stablo preoblikuje u gotovi proizvod (Krpan 1992). Ti postupci su: rušenje stabla, kresanje grana, razmjeravanje, prikrajanje te trupljenje debla i preuzimanje oblovine. S obzirom na razinu mehaniziranosti sječe i izradbe drva razlikuju se: ručna sječa i izradba (slika 1), ručno-strojna sječa i izradba (slika 2) te strojna sječa i izradba (slika 3).



Slika 1. Ručna sječa i izradba drva



U ručnu sječū i izradbu drva spada korištenje samo ručnih oruđa, poput ručne pile i sjekire te klinova. Osnovna značajka ovakvog načina sječe i izradbe drva je niska razina proizvodnosti, visoki troškovi te opasan i fizički težak rad.

Ručno-strojnu sječū i izradbu karakterizira primjena motorne pile lančanice kao glavnog alata, dok sjekira i klinovi i dalje ostaju nezaobilazni pomoćni alat. Ovakav način pridobivanja drva kod nas je najzastupljeniji.





Slika 2. Ručno-strojna sječa i izradba drva

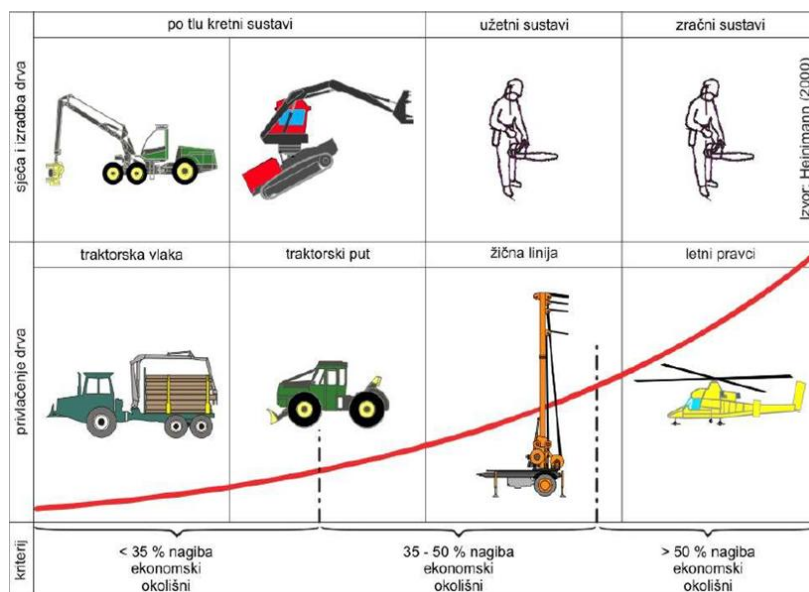
Strojna sječa i izradba je način pridobivanja drva gdje stroj (harvester, harvarder) sve postupke sječe i izradbe sam obavlja, naravno uz rukovođenje za to osposobljenog radnika. Posebno valja istaknuti kako ovi strojevi obavljaju i mjerenje drva, što predstavlja značajnu racionalizaciju rada.



Slika 3. Strojna sječa i izradba drva

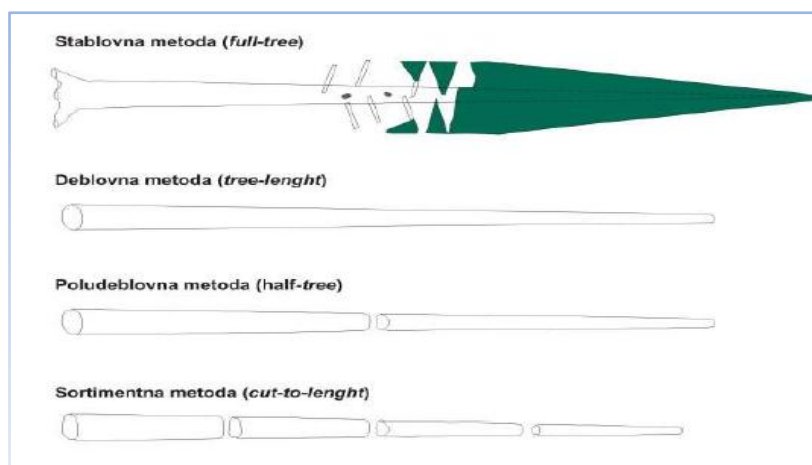
Metode sječe i izradbe drva određene su oblikom u kojemu se drvo doprema do pomoćnoga stovarišta, a ovise o stupnju izradbe drva na mjestu sječe. Sustav pridobivanja drva (slika 4)

obuhvaća tehnologije, strojeve i alate koji se koriste prilikom eksploatacije neke sječne jedinice (Krpan i Porsinsky 2002A).



Slika 4. Osnovni sustavi pridobivanja drva (Izvor: Poršinsky 2007 prema Heinemann 2000)

Pojedine sastavnice sustava pridobivanja drva mogu se mijenjati, a da se ne mijenja metoda izradbe drva. Različite metode izradbe drva su: Sortimentna, deblovna i stablovna metoda (slika 5).



Slika 5. Metode izradbe drva (Izvor: Poršinsky 2007)

## 1.1 Harvesterska glava

Početak razvoja harvesterske tehnologije tj. strojne sječe smatra se proizvodnja "The Busch Combine" (slika 6), koji je proizveden u Lousiani 1959. godine, bio je dizajniran za sječu i obradu celuloznog drva u borovim šumama južne Amerike.



Slika 6. The Busch Combine (Izvor: Drushka i Konttinen 1997)

Prva sječna glava proizvedena je u Skandinaviji, bila je hidraulički pogonjena i imala je dvije oštrice, radila je poput „velike grickalice“ (slika 7).



Slika 7. Prva sječna glava (Izvor: Drushka i Konttinen 1997)

Ideja o jednozahvatnoj harvesterskoj glavi pojavila se istodobno u Švedskoj i Finskoj 1977 godine. Finko harvesterska glava (slika 8) u početku je bila namijenjena samo za kresanje grana i prerezivanje, te je kasnije na nju postavljena lančana pila, čime započinje era jednozahvatnih harvestera u Finskoj (Drushka i Konttinen 1997).





Slika 8. Finko harvesterska glava (Izvor: Drushka i Kontinen 1997)

Najveći promjer sječne glave (cm) ograničava uporabu harvestera pri obaranju stabala većih dimenzija (Bručić 1997), dok građa stabala listača te reljefne prilike djeluju na smanjenje učinkovitosti (Krpan 2000). U srednjoj Europi, harvester se koristi u proredama listača, ali mu je učinkovitost u odnosu na rad u četinjačama manja za oko 25% (Pausch 1999).

Njihova je primjena u Hrvatskoj ograničena pretežito sastojinskim prilikama i drugačijim sustavom pridobivanja drva u kojem se provode dodatni radovi doznake stabala, prikrajanja, mjerenja, popisivanja sortimenata.

Podjela strojnih sječnih sustava: Kod svih izvedbi sječnih glava, rezni je uređaj (lančana pila, škare, cirkularna pila) hidraulički pokretan, njihove osnovne međusobne razlike očituju se u namjeni.

Harvesterska glava namijenjena je sječi i izradbi drva, opremljena je lančanom pilom, noževima za kresanje grana, posmičnim valjcima, ali i mjernim uređajem (najkompliciranija i najskuplja) ugrađuje se na jednozahvatne harvestere (slika 9).



Slika 9. Harvesterska glava sa lančanom pilom

Sječna glava sa škarama namijenjena je pridobivanju drva za energiju koje se naknadno ivera (nema potrebe za kresanjem grana, mjerenjem tj. trupljenjem deblvine na određenom mjestu), jednostavna je i jeftinija, te može služiti i kao hvatalo dizalice te se često ugrađuju na dizalicu forvardera (slika 10).



Slika 10. Sječna glava sa škarama

Sječna glava sa cirkularnom pilom namijenjena je isključivo rušenju stabala te je kao takva specijalizirana za strojeve za rušenje stabala (feller bunchere). Zbog svoje namjene sječna

glava nije opremljena ni noževima za kresanje grana ni sustavom za mjerenja oblovinine ni posmičnim valjcima (slika 11).



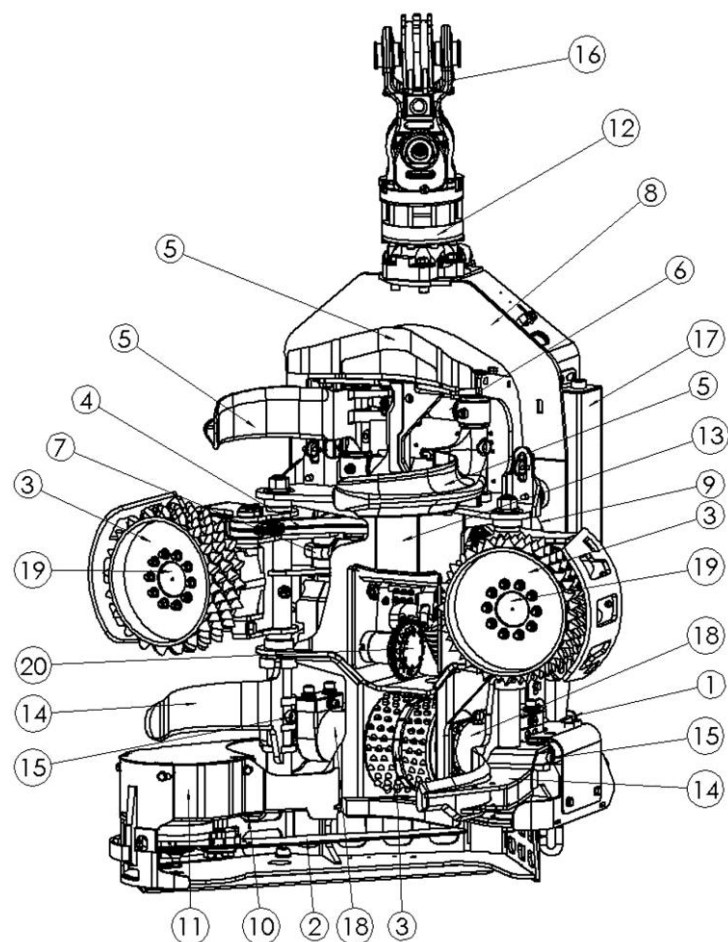
Slika 11. Sječna glava sa cirkularnom pilom

Postojeće jednozahvatne harvesterske glave dijelimo u 3 klase po promjerima te težini (Uusitalo 2010):

- ⇒ Lagane (300-600 kg) , harvesterske glave za manje promjere (5-40 cm);
- ⇒ Srednje (700-1000 kg), višenamjenske harvesterske glave (5-50 cm);
- ⇒ Teške (1000-1200 kg), harvesterske glave za dovršni sijek (10-60 cm).

Harvesterske glave koje teže i više od 3500 kg su također dostupne na tržištu, takve glave su namjenjene preradi stabala promjera 1 metar, one su ipak strukturno slične harvesterskim glavama koje se prodaju u nordijskim zemljama (Uusitalo 2010).

Harvesterska glava se sastoji od čeličnog (strukturnog) okvira na kojem se nalaze sljedeći dijelovi: uređaj za naginjanje (iz vertikalnog u horizontalni položaj), valjci, noževi za kresanje grana, uređaj za piljenje, elektroničke komponente te senzori, sastavni dijelovi jednozahvatne harvesterske glave su prikazani na slici 12.



Slika 12. Sastavni dijelovi jednozahvatne harvesterske glave  
(Izvor: Uusitalo 2010)

- 1) spremnik ulja za podmazivanje
- 2) vodilica i lanac
- 3) valjci za provlačenje
- 4) poluge valjaka
- 5) prednji noževi za kresanje grana
- 6) hidraulični cilindri za prednje noževe
- 7) hidraulični cilindri za valjke
- 8) pokretni okvir
- 9) hidraulični cilindri za pokretni okvir
- 10) hidraulični cilindri vodilice
- 11) hidraulični motor za pilu
- 12) rotator



- 13) okvir
- 14) stražnji noževi za kresanje grana (mjerjenje promjera)
- 15) hidraulični cilindri za stražnje noževe za kresanje grana
- 16) spoj s dizalicom
- 17) spremnik za boju (kao dodatna oprema)
- 18) hidraulični cilindri za gornje valjke
- 19) hidraulični cilindri za donje valjke
- 20) uređaj za mjerjenje duljine

Princip rada harvesterske glave vrlo je jednostavan. Kad je glava otvorena, hidraulični cilindri proširuju noževe i valjke u njihov krajnji položaj. Kad je glava postavljena prema deblu stabla i zatvorena, cilindri povlače noževe za kresanje grana i valjke te uzrokuju zahvaćanje stabla. Stablo se sječe pomoću mehanizma pile lančanice. Nakon sječe deblo se ruši na zemlju pomoću pokretnog okvira harvesterske glave. Valjci, kojih može biti od 2 do 4, zavisno o vrsti harvesterske glave, počinju provlačiti deblo prema naprijed kroz harvestersku glavu. U isto vrijeme vrši se kresanje grana na način da tijekom provlačenja debla kroz harvestersku glavu grane nailaze na noževe za kresanje koji ih odsijecaju. Tijekom provlačenja debla kroz harvestersku glavu vrši se izmjera duljine (pomoću mjernog kotača – preciznost 1 cm) i promjera sortimenta (pomoću kuta noževa za kresanje grana – preciznost 1 mm) (slika 13). Prerezivanje i mjerjenje sortimenata se vrši pomoću automatiziranog sustava za mjerjenje. Zbog pretvaranja mjerenja duljine i promjera u električnu veličinu sustav je podržan računalom, koje omogućava pohranu podataka mjerenja





Slika 13. Princip mjerenja promjera  
(Izvor: Uusitalo 2010)

Računalni sustav harvestera (slika 14) kontrolira rad sječne glave, izmjeru stabla, donošenje odluke o mjestu trupljenja u svrhu polučanja najveće iskoristivosti debla, odnosno o izradbi sortimenata zadanih dimenzija prema zahtjevima kupaca. Lista trupljenja ima zadane minimalne dimenzije (duljina i promjer na tanjem kraju) željene oblovine.

Razlikujemo ručno i automatsko prikrajanje, automatsko prikrajanje debla zahtjeva baze znanja (matematičke modele) o morfologiji pojedinih vrsta drveća. Sustav na osnovu podataka o dimenzijama stabala i zadanim dimenzijama oblovine donosi sud o mjestu optimalnog trupljenja debla.



Slika 14. Računalni sustav

U današnje vrijeme na tržištu se pojavljuju novi tipovi harvesterkih glava tzv. energijske glave (slika 15) koje su namijenjene za pridobivanje energijskog drva, razlikuju se od tradicionalnih harvesterkih glava na temelju toga što na te glave nisu postavljeni noževi za kresanje grana i valjci. Sječa stabala se vrši pomoću kružne pile, pile lančanice ili pomoću hidraulički pokretanih sječnih noževa (klijesta). Pošto se takve glave uglavnom koriste u prorednim sastojinama, koje karakteriziraju stabla malih promjera, na njih su postavljene prihvatne “ruke” čija je zadaća privremeno zadržati posječena debbla dok se ne posiječe dovoljan broj stabala koja čine snop optimalan za utovarnu napravu forvardera ili traktorske ekipaže.



Slika 15. Harvesterska glava za pridobivanje energijskog drva

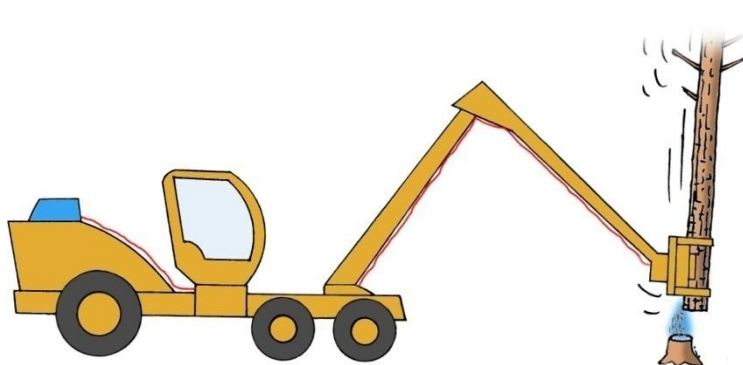
Nadalje na tržištu se pojavljuju i harvesterske glave koje koriste taktnu tehnologiju (slika 16). Kod taktne harvesterske glave gornji dio glave je opremljen pokretnim krakom na koji su postavljeni noževi za kresanje grana. Nakon sječe stabala, pomični krak se izvlači prema naprijed te tako započinje kresanje grana. Kada se pomični krak izvuče na maksimalnu duljinu noževi za kresanje grana čvrsto prihvate deblo, te tada započinje uvlačenje pomičnog kraka, odnosno privlačenje donjeg dijela harvesterske glave. Kada je pomični krak u potpunosti uvučen završen je jedan radni takt. Kresanje grana se vrši u zahvatima (taktovima) duljine 2 metra. Deblo se može prerezivati pomoću pile lančanice ili pomoću hidraulički pogonjenih kliješta (lakši modeli). U usporedbi s harvesterskom glavom koja je opremljena valjcima, taktna harvesterska glava je sporija, ali radni princip je pouzdaniji. Nadalje, manje oštećuju samo deblo te je stoga pogodnija za upotrebu u sastojinama listača. Harvesterske glave s taktnom tehnologijom najpogodnije su za upotrebu na lakšim (manjim) strojevima, na slici 16 je Arbo harvesterska glava s taktnom tehnologijom prilikom provođenja prorede.





Slika 16. Harvesterska glava s taktnom tehnologijom  
(Izvor: Uusitalo 2010)

Zbog načina konstrukcije, harvesterska glava može izvršiti dodatne funkcije. Jedna od tih funkcija je špricanje panjeva zaštitnim sredstvima, kada se sječa vrši izvan zimskog perioda, kako bi se spriječilo razvoj gljiva razaračica drva. Špricanje se vrši nakon što se izvrši rez i to pomoću posebnih, za tu svrhu izgrađenih vodilica na koje je postavljena mlaznica ili pomoću mlaznica koje su postavljene na okvir harvesterske glave kod pile lančanice. Otopina se prenosi iz spremnika koji je pričvršćen na okvir stroja kroz crijevo na pilu ili na posebnu mlaznicu. Prskanje se događa automatski.



Slika 17. Prikaz tretiranja panjeva zaštitnim sredstvima prilikom sječe stabala  
(Izvor: Uusitalo 2010)

Princip rada uređaja za špricanje panjeva postavljenog na harvester. Spremnik s zaštitnim sredstvom može biti postavljen na prednji ili stražnji most harvestera. Sredstvo se prenosi od spremnika do mlaznice preko dizalice kroz crijevo.

Harvesterska glava također može biti opremljena sa sustavom za označavanje trupaca pomoću boje što olakšava sortiranje sličnih drvnih sortimenata prilikom primarnog i sekundarnog transporta. Označavanje bojom se obavlja preko mlaznica koje su pričvršćene za okvir harvesterske glave ili za dio gdje se nalazi pila. Uobičajeno imamo dvije mlaznice, te se dvije boje koriste, što omogućuje tri različite kombinacije boja (plava, crvena, plava i crvena). Boja se raspršuje na gornjem kraju trupca baš u trenutku kad je završilo prerezivanje, te deblo počne padati na zemlju (slika 18). Boja se prenosi iz spremnika (obično dva) koji je pričvršćen na okvir stroja kroz uske cijevi do mlaznica. Upute za obilježavanje bojom su unaprijed programirane i obično unesene u matricu fajla u koji se spremaju podaci o prerezivanju.



Slika 18. Prikaza obilježavanja trupca bojom prilikom prerezivanja stabla pomoću harvestera  
(Izvor: Uusitalo 2010)

Harvesterska automatizacija kontrolira obilježavanja, tako da se odgovarajućom kombinacijom boja obilježava svaki trupac u pravom trenutku.

Još jedna od posebnosti koje se pojavljuju kod harvesterskih glava je i ta da svaki od proizvođača ima razvijenu posebnu harvestersku glavu za pridobivanje drva iz kultura i plantaža eukaliptusa (*Eucalyptus sp.*) (slika 19). Posebnost takvih harvesterskih glava je u tome što imaju posebno za njih konstruirane valjke koji prilikom provlačenja debla kroz harvestersku glavu automatski vrše odkoravanje debla. Potreba za proizvodnjom posebne harvesterske glave za pridobivanje drva iz plantaža eukaliptusa (*Eucalyptus sp.*) proizlazi iz

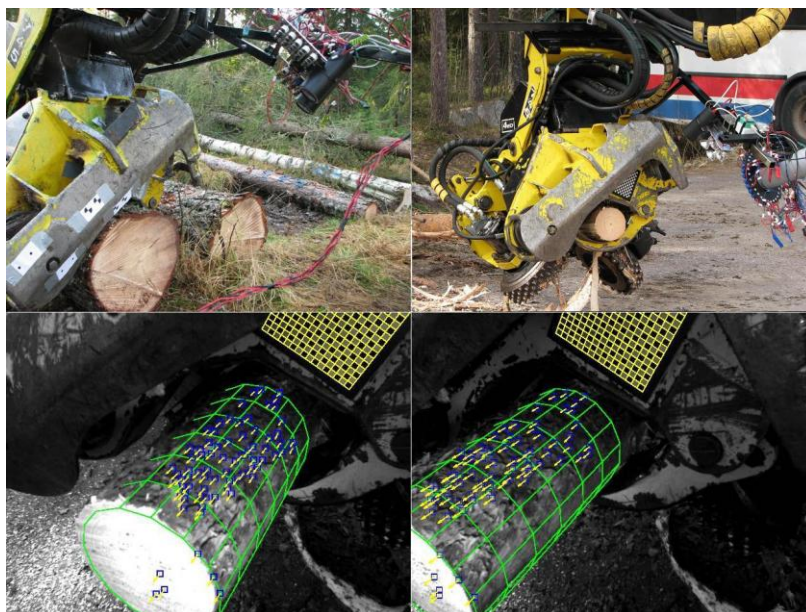
toga što su u svijetu velike površine šuma, kultura i plantaža eukaliptusa, iz čije se kore, u kojoj se nalazi materija nazvana *kino*, koja služi za proizvodnju gume.



Slika 19. Harvesterska glava za eukaliptus

Kao i kod svake tehnologije, prilikom razvoja uočavaju se određeni nedostaci, tako je i kod harvesterskih glava. Sustav mjerenja na harvesterskim glavama (mjerni kotačić i stražni noževi za kresanje grana – mjerenje promjera) uvelike ovise o vrsti drva i kvaliteti drva koje se sječe i izrađuje. Zbog grešaka na drvu, broja grana, odstupanja oblika drva od pravilnog oblika valjka s današnjim sustavom mjerenja pojavljuju se greške prilikom izmjere od 1 - 2 cm. Na prvi pogled takva greška ne predstavlja veliko odstupanje na pojedinačnom sortimentu, ali kako je šumarstvo djelatnost u kojoj vlada zakon velikih brojeva, takva greška predstavlja značajno odstupanje na ukupnoj količini proizvedenih sortimenata. Upravo zbog toga se pokušava razviti sustav mjerenja promjera i duljine sortimenta pomoću stereo kamera (slika 20) (Miettinen i dr. 2009).





Slika 20. Novi sustav za mjerenje sortimenata

## **2.Cilj istraživanja**

Glavni cilj istraživanja je određenje njihova položaja unutar obitelji harvesterskih glava na temelju morfološke analize. Svrha ovakvih analiza je ustanoviti stanovite objektivne kriterije, koji bi omogućili uspoređivanje sličnih tipova strojeva i uređaja, ustanovljivanjem sličnosti ili pak njihovih bitnih razlika.

Cilj je ovoga diplomskog rada izvršiti morfološku analizu različitih tipova harvesterskih glava te na osnovu rezultata ukazati na posebnosti njihovih dimenzijskih i tehničko-tehnoloških značajki te ekološku pogodnost harvesterskih glava za izvođenje radova.



### 3. Metode istraživanja

Istraživanje je provedeno na osnovu prikupljenih podataka o harvesterskim glavama. Podaci su preuzeti sa internetskih stranica i kataloga, proizvođača i uvoznika harvesterskih glava. Odabrano je devet osnovnih morfoloških značajka za 211 tipova harvesterskih glava (tablica 1). Cijela zamisao morfološke analize zasniva se na korelacijskoj ovisnosti između pojedinih parova tehničkih značajki harvesterskih glava. Pri tome su odabrane slijedeće značajke:

- ⇒ Masa (kg)
- ⇒ Sječivi promjer (cm) – Promjer stabla koje je moguće posjeći s harvesterskom glavom
- ⇒ Promjer kresanja (cm) – Promjer debla pri kojem je moguće vršiti kresanje grana
- ⇒ Promjer prerazivanja (cm) – Promjer debla koje je moguće prerezati
- ⇒ Radni tlak (bar)
- ⇒ Protok (l/min)
- ⇒ Snaga pile (kW)
- ⇒ Sila valjaka (kN)
- ⇒ Brzina valjaka (m/s)

**Tablica 1.** Baza podataka o harvesterskim glavama

MODEL	masa (kg)	sječivi promjer (cm)	promjer kresanja (cm)	promjer prerazivanja (cm)	radni tlak (bar)	protok (l/min)	snaga pile (kw)	sila valjaka (kN)	brzina valjaka (m/sec)
AFM 45 1	760	50	35	50	320	180	45	22	5,5
AFM 45	850	50	35	50	320	180	45	22	5,5
AFM 50 1	790	58	40	50	320	180	45	22	5,5
AFM 50	890	58	40	50	320	180	45	22	5,5
AFM 55	1250	65	50	60	320	250	45	24	5,5
AFM 60 1	1150	75	50	60	320	250	45	25	6
AFM 60	1400	75	50	60	320	250	45	25	6
AFM 60 EUCA	1550	70	50	60	320	250	45	25	6
AFM 75	1950	90	65	65	320	300	45	32	5
AFM 85 Magnum	2000	100	70	75	320	450	80	50	5
AFM 80 Magnum	2400	85	75	70	240	435	50	35	5
AFM 60 Combi	1500	80	50	60	320	250	45	23	5
AFM 50 Combi	825	56	40	50	320	180	45	22	5,5
AFM 60 FH	1400	80	60	60	320	250	45		
AFM 55 Husky	1330	65	55	60	350	270	45	27	5,5
<i>KESLA 16 RH</i>	<i>430</i>	<i>45</i>	<i>33</i>	<i>45</i>	<i>250</i>	<i>170</i>	<i>80</i>	<i>16</i>	<i>4</i>
<i>KESLA 16 RHS</i>	<i>430</i>	<i>45</i>	<i>33</i>	<i>45</i>	<i>250</i>	<i>150</i>	<i>65</i>	<i>13</i>	<i>4</i>
<i>KESLA 18 RH</i>	<i>450</i>	<i>45</i>	<i>33</i>	<i>45</i>	<i>240</i>	<i>200</i>	<i>80</i>	<i>19</i>	<i>5</i>

\*Italic fontom su opisane harvesterske glave čija je masa iskazana bez rotatora

KESLA 18 RHS	445	45	33	45	240	150	60	15	5
KESLA20 RH	570	45	33	45	240	200	80	19	5
KESLA 20 RHS	570	52	33	52	240	160	65	15	5
KESLA 25 RH	790	67	39	67	240	250	100	24	5
KESLA 25RHS	790	56	39	56	240	210	85	20	5
KESLA 28 RH	1280	75	48	75	270	300	150	30	4
KESLA 28 RHS	1280	75	48	75	270	270	130	25	4
KESLA 30 RH	1400	75	48	75	270	300	150	30	4
KESLA 30 RHS	1400	75	48	75	270	270	130	27	4
KESLA 20 SH	520	45	33	45	220	120	44	41	
KESLA 25 SH	880	67	40	67	220	180	75	65	
KESLA 560 SH	800	67	39	67	220	180		65	
LOGMAX 928A	407	48	48	48	210	120		14,9	3
LOGMAX 4000B	602	60	40	60	250	150		19,5	4,3
LOGMAX 5000 C	924	66	51	66	230	230		24	5
LOGMAX 7000 B	1573	73	70	73	300	300		39	5
LOGMAX 9000 B	1657	69	71	69	300	300		42,1	5
LOGMAX 5000D	891	75	54	75	250	165		22,9	3,9
LOGMAX 6000B	1299	82	62	82	260	200		28,1	4,1
LOGMAX 6000 TWIN	1504	82	82	82	260	280		28,1	4,1
LOGMAX 7000C	1619	90	70	90	300	300		39,2	4,55
LOGMAX 7000XT	2078	90	90	90	300	250		43,8	4,65
LOGMAX 10000XT	2800	101,5	101,5	101,5	320	380		46,1	4,1
LOGMAX 12000XT	4220	114	82	114	320	400		50	5
LOGMAX 9000	1652	80	70	80				41,5	5,1
LOGMAX E6	1569	75	75	75	300	280		19,5	5,8
PONSSE HW 60	1000	64	60	64	240	300		24	5
PONSSE H 73 E	1150	72	70	72	240	300		26	5
PONSSE H53	900	52	55	52	240	250		18	5
PONSSE H60	900	64	60	64	240	300		24	5
PONSSE H60 BW	970	64	60	64	240	300		24	6
PONSSE H60 E	940	64	60	64	240	300		24	5
PONSSE H6	1050	64	64	64	280	300	45	25	6
PONSSE H7	1250	72	72	72	280	300	45	30	5
PONSSE H7 EUCA	1250	64	64	64	280	300		30	5,8
PONSSE H8	1400	76	76	76	280	300	45	36	5
PONSSE H5	950	53	53	53	280			19	6
PRENTICE PE-41	895	55	55	55	240	200		21	5
PRENTICE PE-42	973	55	55	55	240	200		21	5
PRENTICE PE-44	1378	65	65	65	250	184		23	5
PRENTICE PE-50	1458	85	85	85	250	184		27	5
PRENTICE PD -46	1497	56	56	56	310	136		33	4
PRENTICE PD 57	1905	66	66	66	310	208		33	5
PRENTICE PF-48	2100	61	61	61	282	132		33	4,3

\*Italic fontom su opisane harvesterske glave čija je masa iskazana bez rotatora

SILVATEC 235 MD 35	600	45	35	45	210	150		18	5
SILVATEC 335 MD 40	700	50	40	50	210	180		19,4	5
SILVATEC 445 MD 50	1024	55	50	55	250	300		37	5
SILVATEC 665 MD 70	1850	80	70	80	250	350		45	5
SILVATEC 450	1024	55	55	55	250	400		29	6,5
SILVATEC 560	1350	63,5	63,5	63,5	250	400		37	5,5
SP 451 LF	640	53	53	53	250	185		18	6
SP 561 LF	980	60	60	60	280	195		28	6
SP 591 LX	1800	60	60	60	300	166		30	7
SP 551 LF	940	60	43	60	250	195		25	6
SP 751 LF	1950	90	54	90				41	6
SP 761 LF	1950	90	54	90	280	250		50	6
SP 401 EH	690	63	63	63	250	185			3
PATU 355 RH	335	40	30	40	220	140		13	3,8
PATU 405RH	480	45	40	45	250	140			4,3
PATU 505 RH	710	65	55	65	230	200			3,6
PATU 410 SH	480	45	40	40	220	120	28		4,3
PATU 560 SH	800	60	50	50	220	180	65		4
TIMBERJACK H 762 C	1327	59	59	59	280	220			
TIMBERJACK 745	871	55	55	55		171			
CATERPILLAR PE-44	1378	65	65	65	250	184		23	5
CATERPILLAR HH 45	710	50	43	45	250			14,7	5
CAT HH 55	950	55	53	55	250			19,4	5
CAT HH 65	1000	65	53	65	250			19,4	5
CAT HH 75	1460	75	58	65	250			26,7	5
TUFAB	300	35	35	35	193	87			3,5
<i>JDEERE H752 HD</i>	<i>950</i>	<i>57</i>	<i>40</i>	<i>57</i>	<i>280</i>	<i>340</i>		<i>30,5</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE H412</i>	<i>733</i>	<i>47</i>	<i>40</i>	<i>47</i>	<i>280</i>	<i>280</i>		<i>17</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE H480 C</i>	<i>1240</i>	<i>71</i>	<i>46</i>	<i>71</i>	<i>280</i>	<i>340</i>		<i>30</i>	<i>5,3</i>
<i>JDEERE H414</i>	<i>1030</i>	<i>62</i>	<i>43</i>	<i>62</i>	<i>280</i>	<i>340</i>		<i>27</i>	<i>5,3</i>
<i>JDEERE 745</i>	<i>780</i>	<i>62</i>	<i>40</i>	<i>62</i>	<i>240</i>	<i>208</i>		<i>24,9</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE H754</i>	<i>820</i>	<i>62</i>	<i>40</i>	<i>62</i>	<i>280</i>	<i>232</i>		<i>27,8</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE 758 HD</i>	<i>1140</i>	<i>72</i>	<i>40</i>	<i>72</i>	<i>280</i>	<i>304</i>		<i>30,2</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE H480</i>	<i>1200</i>	<i>72</i>	<i>40</i>	<i>72</i>	<i>280</i>	<i>336</i>		<i>30,2</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE H742</i>	<i>700</i>	<i>47</i>	<i>35</i>	<i>47</i>				<i>21,3</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE H752</i>	<i>930</i>	<i>57</i>	<i>41</i>	<i>57</i>				<i>30,5</i>	<i>6</i>
JDEERE 762 C	1270	65	43	65				28	5
<i>JDEERE H270</i>	<i>1310</i>	<i>65</i>	<i>46</i>	<i>65</i>	<i>280</i>	<i>380</i>		<i>33,9</i>	<i>6</i>
<i>JDEERE H290</i>	<i>1850</i>	<i>75</i>	<i>75</i>	<i>75</i>	<i>280</i>	<i>380</i>		<i>41,6</i>	<i>6</i>
HAHN HSG-140	839	42	42	42	227	120			
HAHN HSG-160	929	46	46	46	227	150			
NISULA 325 H	295	34	34	34	190	120			
NISULA 425 H	410	42,5	42,5	42,5	210	150			
NISULA 500H	740	42,5	42,5	42,5	240			15,5	4,6

\*Italik fontom su opisane harvesterske glave čija je masa iskazana bez rotatora

NISULA 425 C	425	42,5	42,5	42,5	210	150			
NISULA 500 C	750	35	35	35	240			15,5	4,5
KOMATSU 350.1	960	60	40	60	250	300		25,3	5
KOMATSU 360.2	1245	65	50	65	250	310		28,4	5
KOMATSU 365	1200	65	47	65	280	300		28,3	5
KOMATSU 340	760	53	35	53	250	220		18	5
KOMATSU 370.2	1470	70	50	70	280	310		30,7	5
KOMATSU 370 E	1600	70	50	70	280	330		30,8	5
KOMATSU 378	1950	70	50	70	300	330		39	4,5
KOMATSU 378 E	1850	65	42,5	65	300	320		26,6	6
KOMATSU 398	2875	78	63	78	300	400		40	5
KETO 51	390	37	32	37	260	240		15	3,8
KETO 51 Victor	460	37	32	37	210	37		15	4
KETO 55 Supreme	510	37	32	37	260	260		15	3,8
KETO 51 LD	495	37	32	37	210	160		15	3,8
KETO 100	620	45	32	45	260	280		21	4
KETO 100 Supreme	685	45	40	45	210	190		21	4
KETO 150 LD	1040	55	45	55	210	240		24	3,8
KETO 150 HD	1040	55	45	55	210	240		24	3,8
KETO 150 supreme	810	55	45	55	250	220		24	4
KETO 150 Supreme Ecotilt	825	55	45	55	250	220		24	4
KETO 500 HS	1080	60	60	60	210	300		30	3,8
KETO 500 HD	1450	60	60	60	210	300		30	3,8
KETO 600 TS	1500	70	70	70	275	300		40,3	4,5
KETO 825 TS	2450	102	86	102	275	380		41	4
KETO Forst Ecotilt	297	30	25	30	200	120		10	5
KETO 100 LD	680	45	40	45	210	190		18	3,8
KETO 51 Supreme Ecotilt	489	37	32	37	250	220		18	3,5
KETO 100 Eco	710	45	40	45	210	190		21	4
KETO 100 Syke	650	37	32	37	270	100		40	2,5
KETO 1000	2500	90	85	90	260	380		40	3,3
KONRAD WOODY H 50	1090	65	50	50	180	60	89	28	4
KONRAD WOODY H 60	1350	75	60	60	200	60	104	45	4
LOGSET 4M Hamster	700	45	40	45				17	5
LOGSET 5M	980	55	55	55	210	300		19	5
LOGSET 6M	1000	65	55	65	210	300		19	5
LOGSET 5L	1000	54	40	54		240			6
LOGSET 6L	1100	65	45	65		240			6
LOGSET 7L	1080	65	60	65	210	300		19	5,6
LOGSET 7X	1300	65	60	65	210	300		19	5,6
LOGSET 8L	1150	75	68	75	280	250		24	5,6
LOGSET 8X	1370	75	68	75	280	250		24	5,6
SATCO 325	3700	80	80	80	380	170			
SATCO 223	2800	75	75	75	380	170		45	4,8

\*Italic fontom su opisane harvesterske glave čija je masa iskazana bez rotatora

TAPIO 280	330	35	35	35	160	80		20	
TAPIO400	450	45	45	45	160	110		25	
TAPIO 400 EXS	470	45	45	45	160	110		25	
TAPIO 600 EXS	550	55	55	55	160	120		31,4	
TAPIO 250	280	35	30	35	160	80		20	
TAPIO 600	510	55	45	45	160	120		31	
TIGERCAT 650	1325	65	60	65	300			28	5,3
TIGERCAT TH 575	2315	70	70	70	310	375		39	6
VALMET 360.2	1275	63	53	53	430	260			
VALMET 330.2 Duo	695	48	32	48	240	180		15,5	4,5
VALMET 350.1	960	60	60	60	240	200		25	5
VALMET 360.2	1245	65	50	65	280	260		25	5
VALMET 370.2	1470	70	50	70				31	5
VALMET 370 E	1600	70	50	70	280	310		31	5
ROTTNE EGS 402	490	46	40	46	250	323		14	3,7
ROTTNE EGS 590	1100	65	60	65	250	323		25	4
ROTTNE EGS 700	1500	75	70	75	250	357		27	3,7
ROTTNE EGS 405	480	45	40	45	250	230		13	4
VIKING 525.3	925	55	42	55				20	5,3
VIKING 625.3	925	65	42	65				20	5,3
VIKING 650.3	1200	75	53	75				24	5,3
VIKING 630	1200	63	63	63		240			
VIKING 520	890	52	52	52		200			
WARATAH HTH2 40	680	47	35	47	250	160		18,5	
WARATAH HTH2 50 HD	965	57	41	57	250	305		24,4	
WARATAH H270	1205	65	48	65	280	380		30,1	
WARATAH H290	1850	75	51	75	280	380		41,6	
WARATAH HTH450	780	62	40	62	240	325		25	
WARATAH HTH460	870	62	40	62	250	250		25	
WARATAH HTH470 HD	1080	71	48	71	240	285		30	
WARATAH H480	1250	71	48	71	280	340		30	
WARATAH HTH616	1550	50	52	50	250	260		23	
WARATAH HTH622 B	2120	76	64	76	350	320		38	
WARATAH HTH624 C	3386	75	76	75	350	360		47,5	
WARATAH HTH 620	2150	70	70	70	250	300		26	4,4
WARATAH HTH 622	2260	70	70	70	320	360		38	4,4
WARATAH HTH 624	3140	74	74	74	320	360		47,5	3,3
WARATAH HTH 626	4480	76	76	76	320	360		61,5	2,86
WARATAH HTH 245	1905	47	47	47	240	266		33	5,2
MAIPU 300 L	470	30	30	30					
MAIPU 300 E	530	30	30	30					
MAIPU 300 ES	600	30	30	30					
DENHARCO 650	2714	65	66	66	235	350		26,4	6,1
LAKO 450	680	46	53	53	200	170			6

\*Italik fontom su opisane harvesterske glave čija je masa iskazana bez rotatora

LAKO 550	1102	56	43	63,5	200	197			6
LAKO 650	1451	66	53	68,5	200	254			6
LAKO 750	1551	68,5	53	76,2	200	300			5
LAKO 850	2857	101	30	86,3	200	300			5
LAKO 950	3039	101	30	96,5	200	360			4
LAKO PREMIO 450	680	45	50	53	350	170	55	25	6
LAKO PREMIO 550	1100	55	50	63	350	195	55	37	6
LAKO PREMIO650	1450	65	50	70	350	255	55	45	6
LAKO PREMIO 750	1550	70	50	78	330	300	35	43	6
PIERCE PACIFIC PTH 20	2041	51	61	51	310	300		44,5	5
PIERCE PACIFIC PTH 24	2954	61	76	61	310	379		44,5	5
FABTEK FT 180	1406	56	56	56	310	136			5
FABTEK FT 240	1905	66	66	66	310	379			5
RISLEY Rolly	2948	72	72	72	250	227			6
RISLEY Sidewinter	3628	76	76	76	240	300			
HORNET 825	3965	66	66	66	255	340			4
QUADCO 5660	2948	61	61	61	275	265			

\*Italic fontom su opisane harvesterske glave čija je masa iskazana bez rotatora

Podaci su tablično razvrstani i obrađeni u računalnom programu Microsoft Excel, pomoću kojega su određene postojeće ovisnosti i dobivene regresijske jednadžbe (polinomni ili linearni modeli), koje predstavljaju rezultate istraživanja. Čvrstoću odabranih regresijskih modela program prikazuje pomoću parametra  $R^2$  – kvadrat indeksa korelacije. Pomoću indeksa korelacije određena je čvrstoća povezanosti između zadanih parametara. Dakle, može se reći da je regresijska analiza metoda kojom se grupa podataka izjednačuje linearnom ili nekom od nelinearnih funkcija izjednačenja. Ako se radi o linearnoj regresijskoj analizi, čvrstoća veze pokazuje koeficijent korelacije; ako je funkcija izjednačenja nelinearna, onda čvrstoću te veze pokazuje indeks korelacije. Kada se radi o eksponencijalnim regresijama, izjednačenja su moguća tek nakon određenih transformacija varijabli, npr. logaritmiranjem odnosno recipročnim vrijednostima. Tako transformirane varijable daju regresije kod kojih suma kvadrata odstupanja originalnih vrijednosti od linije izjednačenja nije najmanja, već je najmanja suma kvadrata odstupanja transformiranih vrijednosti. Poznato je da zbog toga dolazi do "otklona" procijenjene regresije od prave regresije, odnosno do dijagrama raspršenja podataka. Računala omogućuju da se određivanje koeficijenata regresijskog modela ne vrši Gaussovim jednadžbama, već direktnom minimalizacijom sume kvadrata odstupanja.

### 3.1. Morfološka analiza

Morfološkom analizom utvrđuje se trenutačno stanje, svojstva i zakonitosti, ali i povijesni te mogući tijek razvoja strojeva u šumarstvu. Na temelju izabраних geometrijskih, masenih i drugih veličina izražavaju se ovisnosti i donosi sud o valjanosti izbora stroja. Rezultati provedenih analiza služe:

- ⇒ šumarskim stručnjacima pri odabiru novih strojeva,
- ⇒ najpovoljnijoj uporabi strojeva u raznim radnim uvjetima,
- ⇒ određivanju parametara pri konstrukciji novih strojeva unutar poznatih obitelji.

Bekker (1956) provodi jednu od prvih morfoloških analiza vozila za kretanje izvan putova, iznoseći mišljenje kako će objekt koji se kreće u nekom mediju poprimiti oblik koji pruža najmanji otpor kretanju. S tog se stajališta, morfološka analiza može učiniti ne samo za iskaz dostignute razine dimenzijskog razvoja vozila ili za traženje položaja nekoga vozila u skupu sličnih, već i za procjenu budućeg razvoja. On navodi kako odnos geometrijskih pokazatelja vozila, a posebice tzv. faktora noseće ploštine vozila, određuje kretnost vozila na mekim tlima.

Sever (1980) morfološkom analizom uspoređuje šumske zglobne traktore s vitlom s adaptiranim poljoprivrednim traktorima, nedvojbeno utvrdivši kako se, iako razvijeni iz poljoprivrednih traktora, skideri mogu svrstati u poseban skup/obitelj vozila koja ima svojstvene morfološke značajke. Ovu analizu proširuje (1986) i na ostala šumarska vozila pa tako i na forvardere, utvrdivši kako i obitelj forvardera također ima svojstvene morfološke značajke. Sever i Horvat (1985) pri izradi studije skidera, a za stvaranje projektnog zadatka za srednji skider, upotrebljavaju rezultate morfološke analize. Takvu analizu za proračun onih dimenzija skidera (ako nisu poznate) koje trebaju za proračun dinamičke preraspodjele opterećenja upotrebljava i Horvat (1989).

Sever i Knežević (1991) traže, između ostalog, razliku u morfološkim značajkama forvardera raznih formula pogona (4x6, 6x6 i 8x8). U ovoj analizi, kao i u ostalima gdje se slikovno iskazuju značajke obitelji vozila, najčešće se kao osnovni pokazatelj upotrebljava tzv. indeks oblika.

Sever i Horvat (1992A) prikazuju bazu podataka geometrijskih i drugih značajki skidera i forvardera. Isti autori (1992B) analiziraju temeljne morfološke značajke raznih šumskih vozila. Iznose mišljenje kako se ovakvim podacima mogu služiti konstruktori pri konstrukciji vozila i šumarski stručnjaci pri njihovom izboru. Njihovu bazu podataka forvardera proširuje

Poršinsky (1996), tražeći položaj jednog tipa forvardera u cijeloj obitelji i Pentek (2008) koji radi morfološku analizu obitelji forvardera.

Istražujući i uspoređujući značajke srednjih skidera i APT-a, Horvat i Sever (1995, 1996), Horvat (1996), Sever i Horvat (1997) te Horvat i dr. (2002) upotrebljavaju morfološku analizu.

Horvat i Kristić (1999) iznose prvu morfološku analizu prorednih traktorskih skupova (traktor s poluprikolicom i hidrauličkom dizalicom) kao polazište u traženju optimalnoga rješenja za nizinske šume.

Na Šumarskom fakultetu u Zagrebu morfološka je analiza upotrebljavana i za istraživanje drugih šumskih strojeva, pa je tako Koščak i dr. (1995) rabe za šumske sitnilice, Šušnjar (1998) za šumske iverače, isti autor 2007. koristi morfološku analizu za šumske hidraulične dizalice, te 2008. za raščlambu farmerskih vitala.

Horvat (2001) morfološkom analizom utvrđuje razlike između adaptiranih poljoprivrednih traktora s ugrađenim različitim izvedbama šumskih vitala.

Horvat i Šušnjar (2001A i 2001B) prikazuju razvoj morfoloških značajki poljoprivrednih traktora, zaključujući da dostignuta raznovrsnost njihove konstrukcije omogućava izbor pogodne inačice traktora za prilagodbu za šumske radove. Isti autori (2003) rabe morfološku raščlambu u dijelu analize pogodnosti opremanja uzgojnog traktora tzv. farmi izvedbama vitla.

Musić (2007) i Poršinsky i dr. (2008) pomoću morfološke analize prikazuju razvoj i utvrđuju razlike između različitih modela motornih pila lančanica.

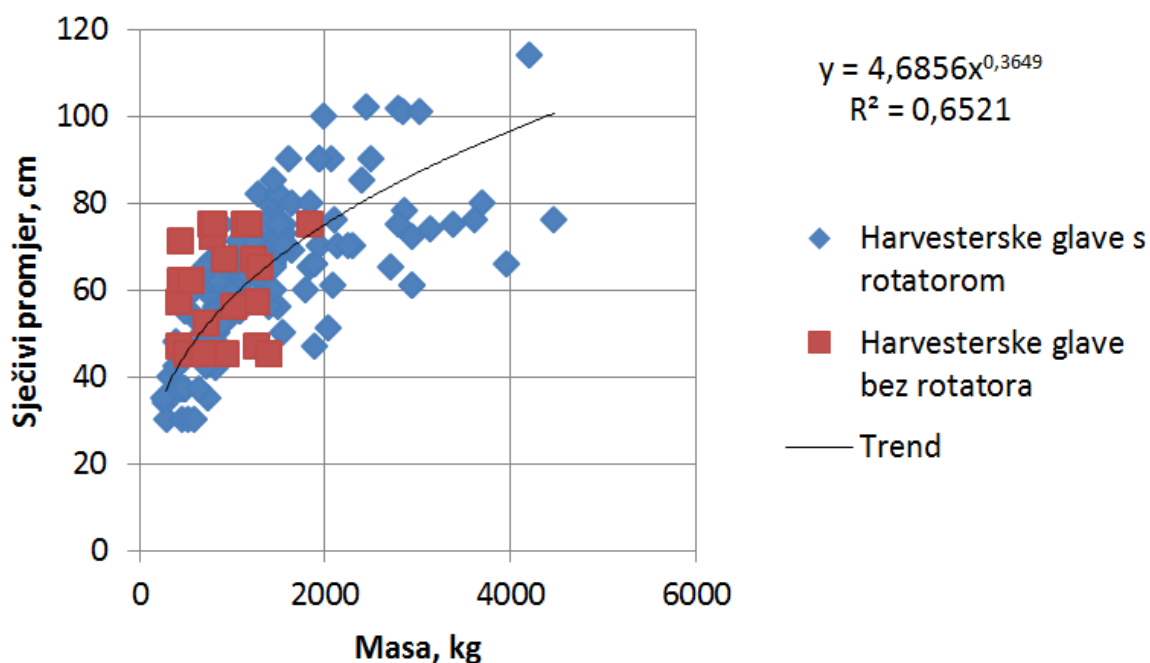
Iz ovoga se kratkoga pregleda nekih dosadašnjih radova lako se da zapaziti kako je morfološka analiza značajna metoda u analizi pogodnosti šumskih vozila i drugih strojeva općenito.



## 4. Rezultati

Morfološkom analizom su utvrđene ovisnosti između pojedinih morfoloških značajki i položaj unutar skupine harvesterskih glava. Odabrano je devet osnovnih morfoloških značajki za harvesterske glave, (masa -  $m$ , sječni promjer -  $cm$ , promjer prerezivanja -  $cm$ , promjer kresanja -  $cm$ , snaga pile -  $kW$ , brzina valjaka -  $m/s$ , sila valjaka -  $kN$ , radni tlak -  $bar$ , protok -  $l/min$ ). Istraživanjem je obuhvaćeno 211 harvesterskih glava, različitih proizvođača.

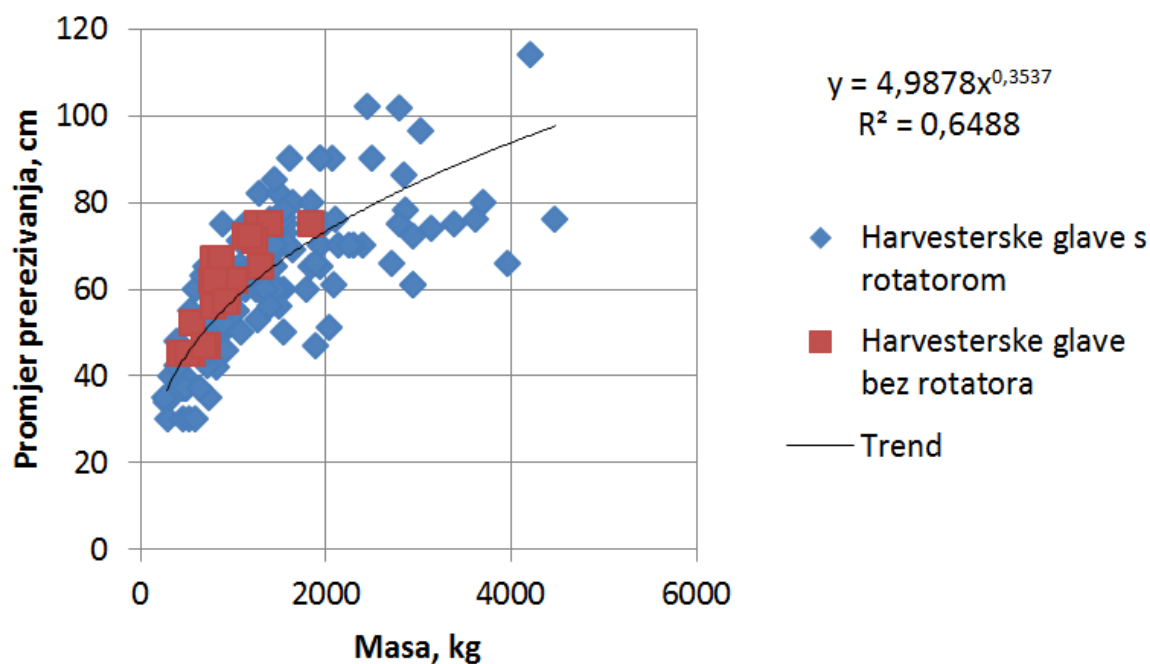
Na slici 21 je prikazana ovisnost sječivog promjera o masi harvesterske glave. Iz slike se jasno iščitava, da porastom mase harvesterske glave raste i sječivi promjer, što je dokazano zadovoljavajućom vrijednosti indeksa korelacije.



Slika 21. Ovisnost sječivog promjera o masi harvesterske glave

Na slici 22 je prikazana ovisnost promjera prerezivanja o masi harvesterske glave, te se također na temelju zadovoljavajuće vrijednosti indeksa korelacije može tvrditi da porastom mase harvesterske glave raste i promjer prerezivanja.

Prilikom analize ovisnosti sječivog promjera i promjera prerezivanja bitno je napomenuti kako kod nekih harvesterskih glava ti promjeri nemaju iste vrijednosti, što znači da pojedine harvesterske glave imaju mogućnost sječe velikih promjera, ali zbog malog polumjera stražnjih noževa, nemaju mogućnost prerezivanja debela velikih promjera



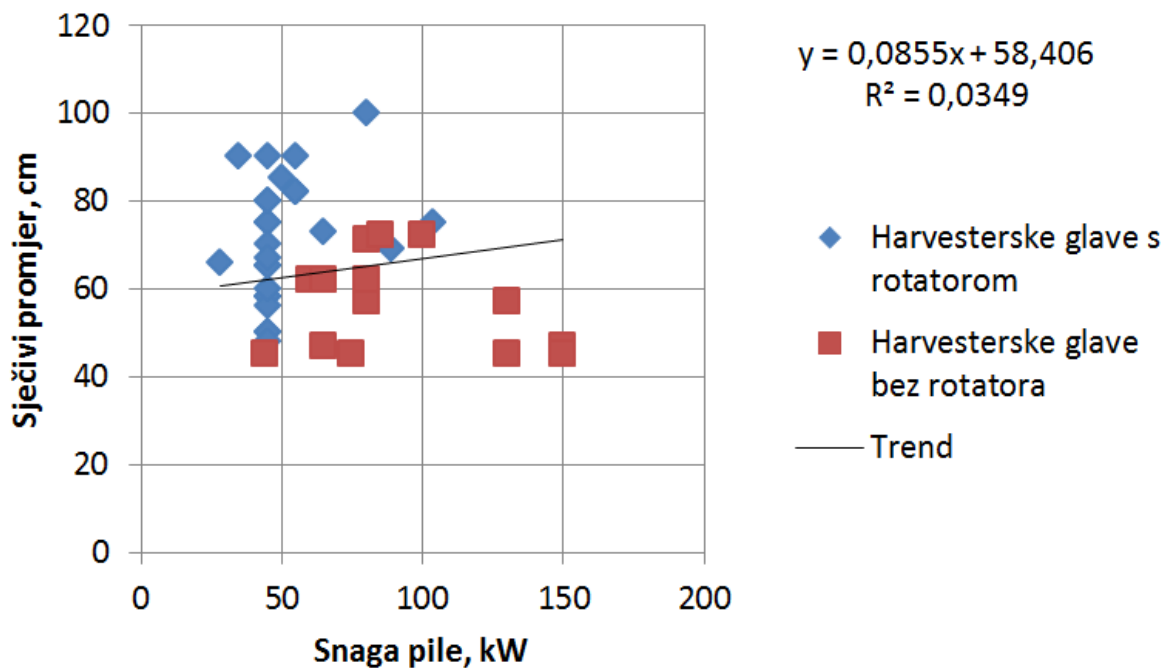
Slika 22. Ovisnost promjera prerezivanja o masi harvesterske glave

Slika 23 prikazuje ovisnost promjera kresanja grana o masi harvesterske glave. Kao i kod analize sječivog promjera i promjera prerezivanja i ovdje se na temelju zadovoljavajuće vrijednosti indeksa korelacije može ustanoviti da porastom mase harvesterske glave raste i promjer kresanja grana, zbog toga što se povećava polumjer noževa za kresanje grana.

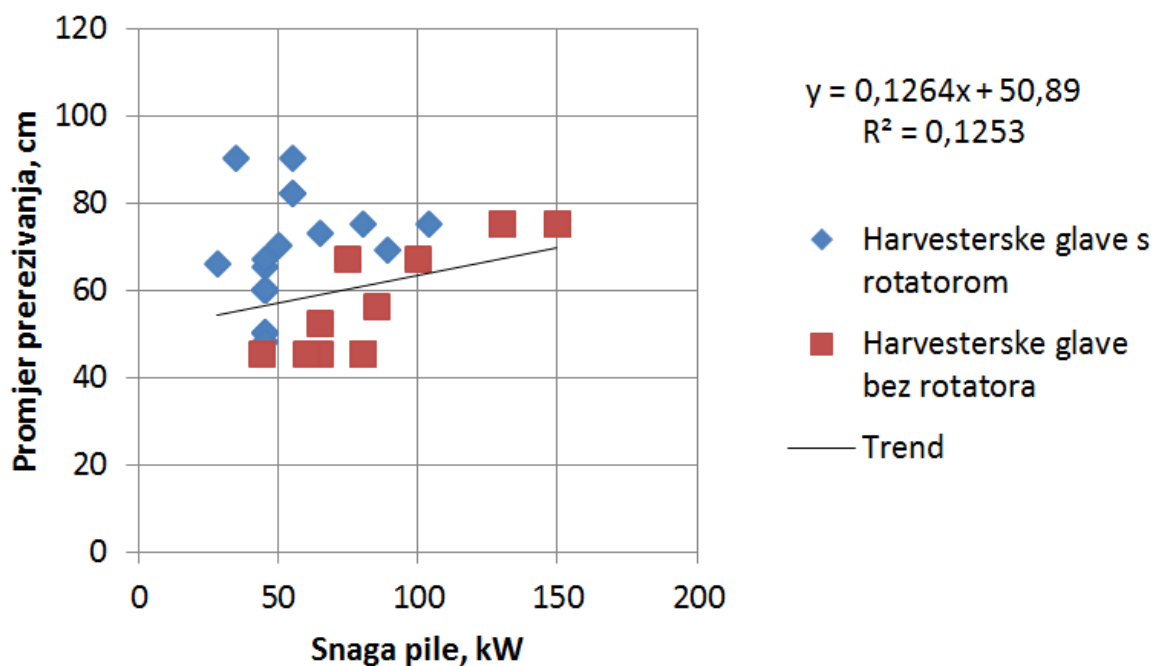


Slika 23. Ovisnost promjera kresanja o masi harvesterske glave

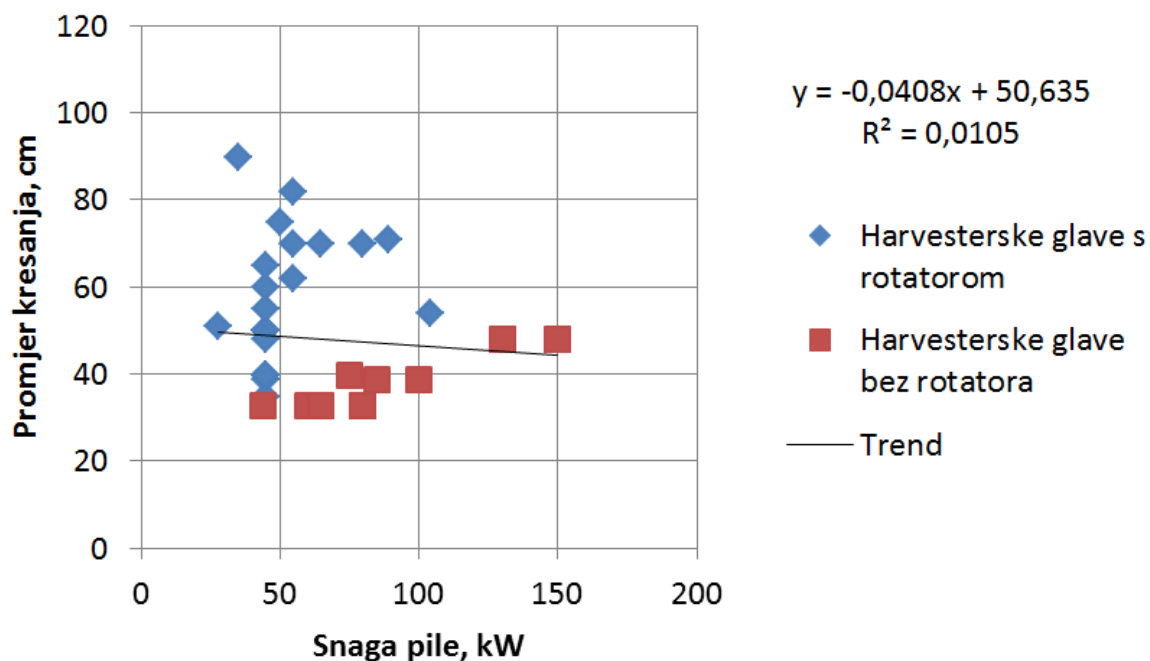
Na slikama 24, 25 i 26 su prikazane ovisnosti sječivog promjera, promjera prerezivanja i promjera kresanja o snazi pile lančanice. Na temelju malih, zanemarivih vrijednosti indeksa korelacije može se tvrditi da ni jedan od tri istraživana promjera ne ovisi o snazi pile lančanice na harvesterskoj glavi.



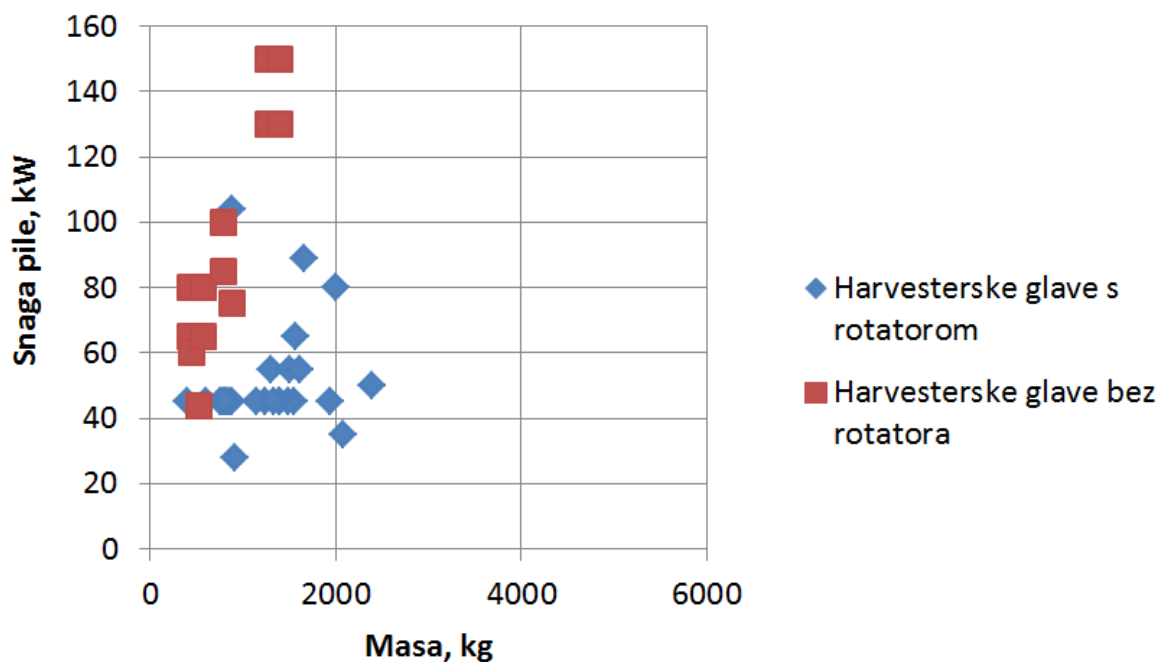
Slika 24. Ovisnost sječivog promjera o snazi pile lančanice



Slika 25. Ovisnost promjera prerezivanja o snazi pile lančanice



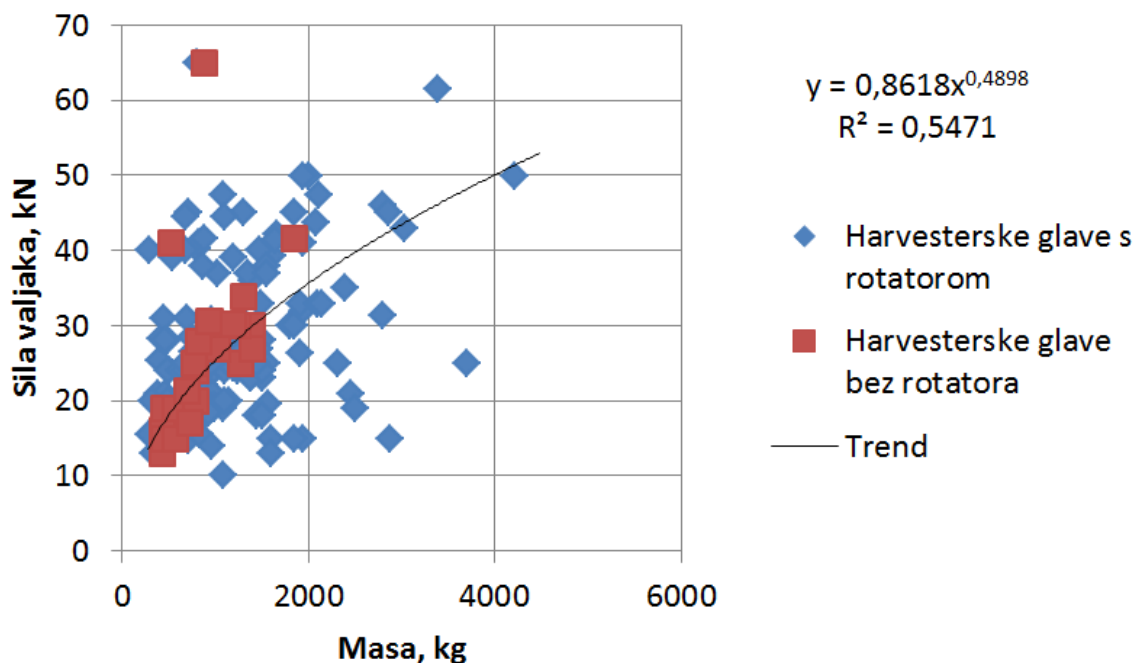
Slika 26. Ovisnost promjera kresanja o snazi pile lančaniće



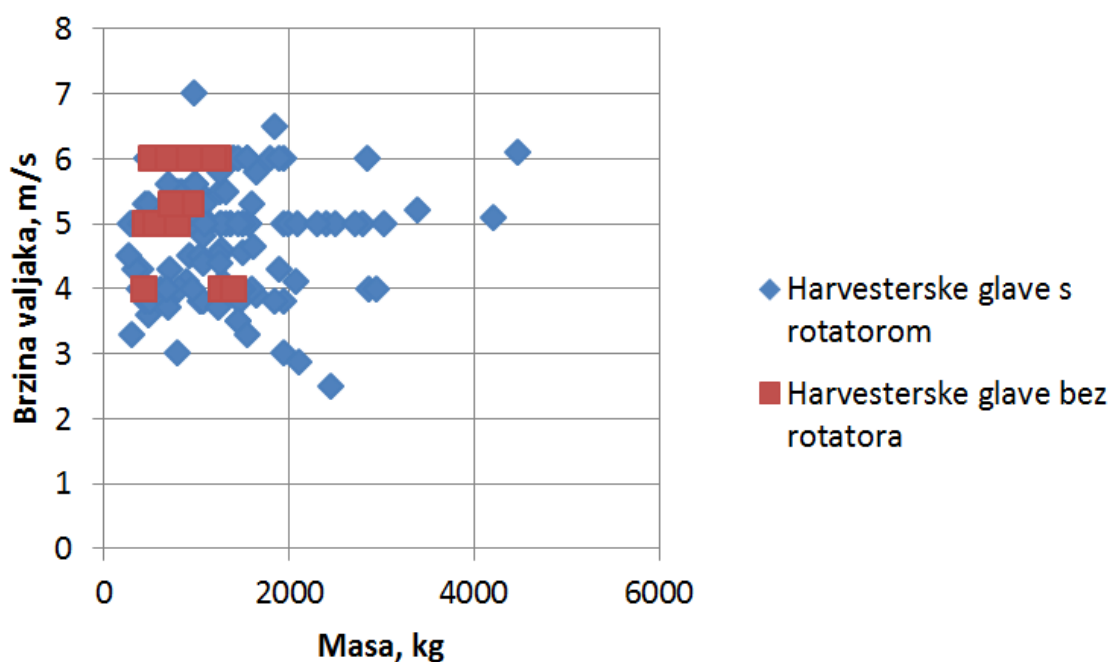
Slika 27. Ovisnost snage pile lančaniće o masi harvesterske glave

Slika 27 prikazuje ovisnost snage pile lančaniće o masi harvesterske glave. Na temelju rasporeda podataka, te male vrijednosti indeksa korelacije koji se dobije prilikom izjednačavanja podataka pomoću matematičkih funkcija, može se tvrditi da snaga pile lančaniće ne ovisi o masi harvesterske glave.

Na slici 28 prikazana je ovisnost sile valjaka o masi harvesterske glave. Zbog zadovoljavajuće vrijednosti indeksa korelacije može se tvrditi da snaga valjaka ovisi o masi harvesterske glave. Što je logičan rezultat analize jer, kako je utvrđeno da sječivi promjer ovisi o masi harvesterske glave, sječom stabala većih dimenzija (promjera) potrebna je veća sila za provlačenje debla kroz harvestersku glavu kako bi se izvršilo prerezivanje.



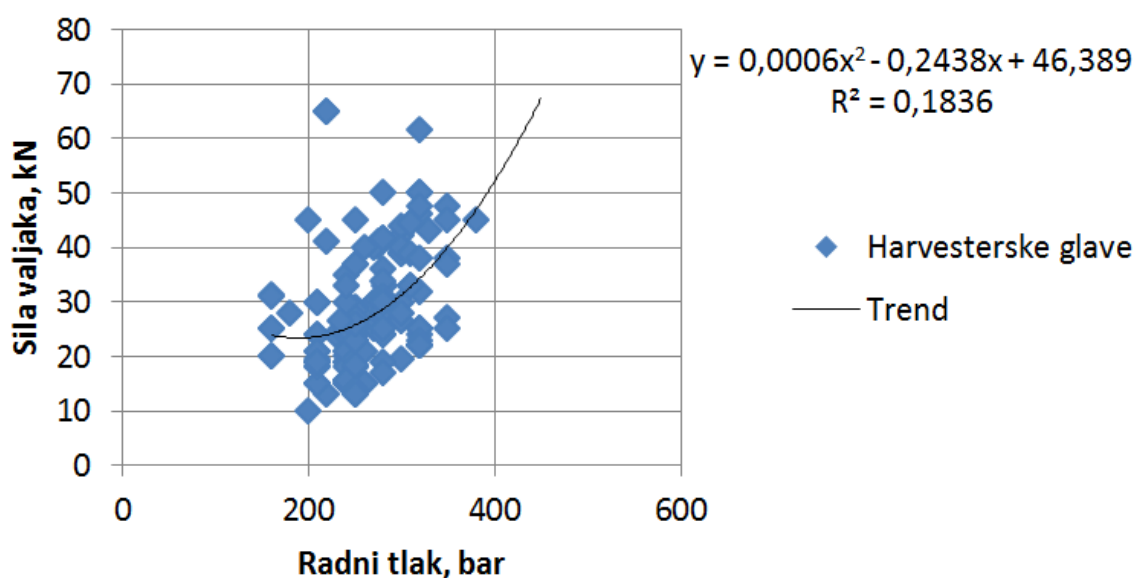
Slika 28. Ovisnost snage valjaka o masi harvesterske glave



Slika 29. Ovisnost brzine valjaka o masi harvesterske glave

Na slici 29 je prikazana ovisnost brzine valjaka o masi harvesterke glave. Na temelju provedene analize ne može se utvrditi ovisnost brzine valjaka o masi harvesterke glave.

Slika 30 prikazuje ovisnost sile valjaka o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterke glave. Na temelju malih vrijednosti indeksa korelacije ne može se utvrditi ovisnost sile valjaka o radnom tlaku harvesterke glave.

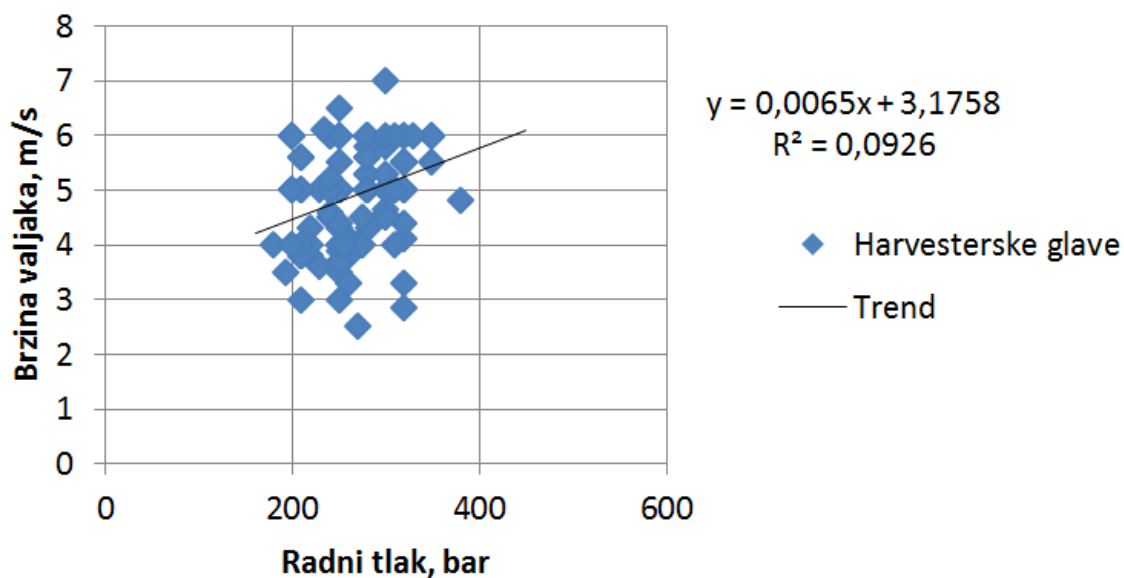


Slika 30. Ovisnost sile valjaka o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterke glave

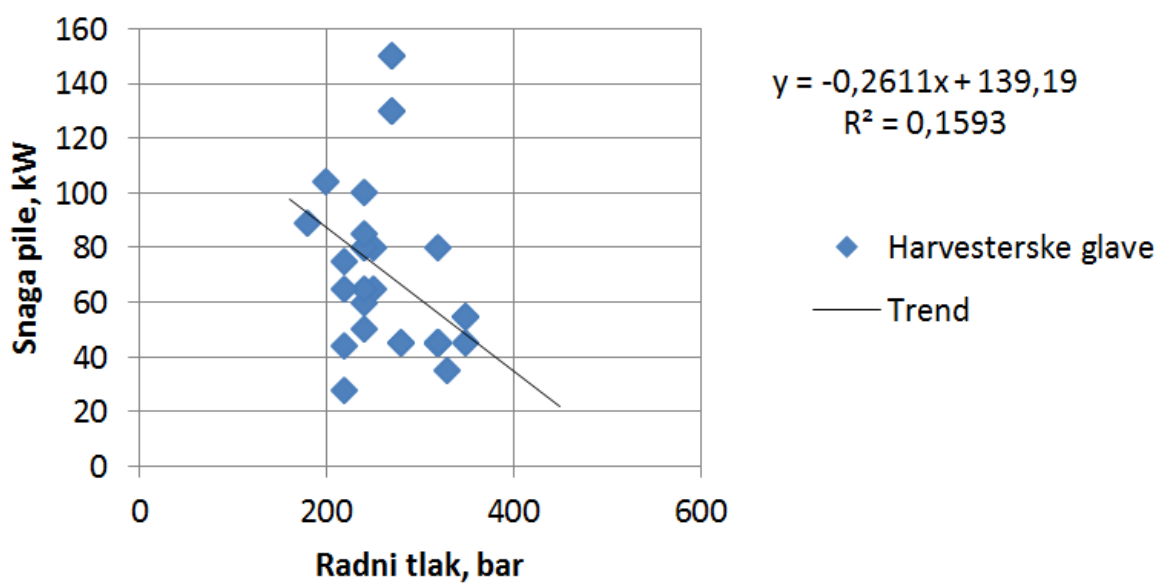
Na slici 31 je prikazana ovisnost brzine valjaka o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterke glave. Ovdje se također zbog male vrijednosti indeksa korelacije ne može utvrditi ovisnost brzine valjaka o radnom tlaku harvesterke glave.

Također, zbog niske vrijednosti indeksa korelacije kod ovisnosti snage lančane pile o radnom tlaku ne može se utvrditi njihova ovisnost. Rezultati istraživanja ovisnost snage pile i ranog tlaka harvesterke glave su prikazani na slici 32.

Ne postojanje ovisnosti između sile valjaka, brzine valjaka i snage lančane pile o radnom tlaku je vjerojatno posljedica toga što se deklarirani radni tlak na internetskim stranicama i katalogima proizvođača, raspoređuje na sve hidraulične komponente koje se nalaze na harvesterkoj glavi.

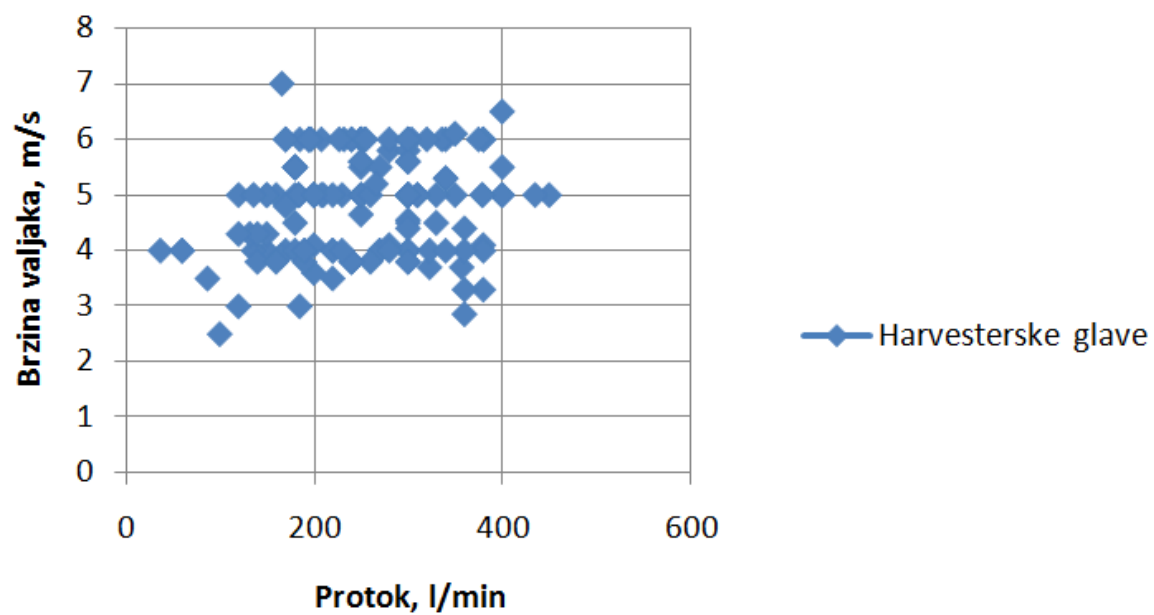


Slika 31. Ovisnost brzine valjaka o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterske glave



Slika 32. Ovisnost snage lančane pile o radnom tlaku potrebnom za pogon harvesterske glave

Na slici 33 prikazana je ovisnost brzine valjaka o deklariranoj količini protoka ulja u harvesterskoj glavi. Na temelju provedene analize ne može se utvrditi ovisnost između brzine valjaka i deklarirane količine protoka ulja.



Slika 33. Ovisnost brzine valjaka o protoku ulja u harvesterskoj glavi



## 5. Zaključak

Morfološkom analizom utvrđuje se trenutno stanje, svojstva i zakonitosti, ali i povijesni te mogući tijek razvoja harvesterskih glava kao oruđa za sječu i izradbu drva. Rezultati provedenih istraživanja mogu poslužiti kao pomoć šumarskim stručnjacima pri odabiru novih oruđa.

Harvesterske glave zbog svoje konstrukcije mogu služiti kao višenamjenska oruđa (alati) u radovima pridobivanja drva, ali i u uzgojnim radovima. Provedenom morfološkom analizom nekih značajki harvesterskih glava utvrđeno je da se harvesterske glave trebaju promatrati kao zasebna skupina oruđa (alata) za sječu i izradu drva tj. da ih se može promatrati odvojeno od samih harvestera.

Sječivi promjer, promjer prerezivanja, promjer kresanja, sila valjaka ovise o masi harvesterske glave. Stoga je potrebo prilikom odabira harvesterske glave obratiti pozornost na sastojinske uvjete u kojima bi se provodila strojna sječa i izrada drva.

Istraživani promjeri ne ovise o snazi lančane pile harvesterske glave, kao što i snaga lančane pile i brzina valjaka ne ovise o masi harvesterske glave.

Sila valjaka, brzina valjaka, snaga lančane pile harvesterske glave ne ovise o radnom tlaku potrebnom za pogona harvesterske glave. Također brzina valjaka ne ovisi o protoku ulja u harvesterskoj glavi.

## 6. Literatura

1. Bekker, M., G., 1956.: Theory of Land Locomotion, Univ. of Michigan Press, 1-499
2. Bručić, G. , 1997: Morfološka prosudba nekih značajki harvesterskih glava. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-31.
3. Drushka, K. , Kontinen, H. , 1997: Tracks in the Forest-The Evolution of Logging Machinery. Timberjack Group Oy, Helsinki, Finland, 126-254.
4. Horvat, D., 1989: Prediction of Tractive Performance for a four-wheel Drive Skidder. International seminar "Forestry transporting machinery and terrain interaction", College of forestry Garpenberg, Sweden, str. 1-12.
5. Horvat, D., Sever, S., 1995: Some Properties of the Skidders used in Mountain Forest Stand Thinning, dobrovoljni referat na XX. IUFRO kongresu, Tampere, Finska, str 211-216
6. Horvat, D., Sever, S., 1996: Neke tehničke značajke traktora za privlačenje drva u prorjedama sastojina brdsko-planinskog područja, Šumarski list, 120(3-4): 157-162.
7. Horvat, D., 1996: Tractive parameters of four skidders used for wood transportation in mountain forest thinning, ECE/FAO/ILO & IUFRO Seminar on environmentally sound forestry roads and wood transportation, Sinaia, Rumunjska, str 377-381
8. Horvat, D., Kristić, A., 1999: Research of some morphological features of thinning tractor assemblies with semi-trailer [Istraživanje nekih morfoloških značajki prorjednih traktorskih skupova s poluprikolicom], Zbornik sažetaka na IUFRO savjetovanju "Emerging Harvesting Issues in Technology Transition at the End of Century", Opatija, 99 – 100.
9. Horvat, D., 2001: Morfološke značajke adaptiranih poljoprivrednih traktora s ugradnjom različitih vitala (Morphological characteristics of adapted farming tractors equipped with different winches), Znanstvena knjiga "Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama", str. 525 – 533
10. Horvat, D., Šušnjar, M., 2001: Morphological analysis of farming tractors used in forest works, 35. Internationales wissenschaftliches symposium - FORMEC 2001, Mendel University of Agriculture and Forestry Brno, p. 27 – 38.
11. Horvat, D., Šušnjar, M., 2001: Neke značajke poljoprivrednih traktora prilagođenih šumskim radovima (Some characteristics of farming tractors used in forest works), Znanstvena knjiga "Znanost u potrajnom gospodarenju hrvatskim šumama", str. 535 – 544.

12. Horvat, D., Goglia, V., Šušnjar, M., 2002: Some technical and ergonomic characteristics of thinning skidder Ecotrac, International conference "Logistic of wood technical production in the carpathian mountains", Zvolen, Slovakia, str. 80-93
13. Horvat, D., Šušnjar M., 2003: Comparison between some technical characteristics of STEYR farming tractor equipped with 3 variants of tajfun farmi winches and with fixed TIGAR winch, Proceedings of Joint FAO/ECE/ILO & IUFRO Workshop on operation improvements in farm forests, Logarska dolina (Slovenija), pp. 83-95.
14. Koščak, B., Horvat D., Sever, S., 1995: Morfološka rasčlamba tehničkih značajki rotositnilica (Morphological Analysis of Malching Flail Mower Technical Characteristics), Mehanizacija šumarstva, Vol. 20, No. 3, str. 137-144
15. Krpan, A. P. B, 1992: Iskorišćivanje šuma (Forest exploitation). Monografija "Šume u Hrvatskoj", Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i „Hrvatske šume“ p.o. Zagreb, 153 – 170.
16. Krpan, A. P . B , 2000: Mogućnosti primjene vrhunskih tehnologija pri iskorištavanju šuma u Hrvatskoj (Possibilities of implementation of high technologies in forest harvestihg in Croatia). Znanstveni skup „Vrhunske tehnologije u uporabi šuma“,Zagreb, 11.travnja 2000., HAZU, Znanstevno vijeće za poljoprivredu i šumarstvo, 45-63.
17. Krpan, A. P. B., Poršinsky,T., 2002A: Proizvodnost harvestera Timberjack 1070 pri proredi kulture običnoga bora(Productivity of Timberjack 1070 Harvester in Scotch Pine Thinning). Šumarski list 126(11-12): 551-561.
18. Miettinen, M., Kulovesi, J., Kalmari J., Visala, A., 2009: New Measurement Concept for Forest Harvester Head. The 7<sup>th</sup> International Conference on Field and Service Robots (FSR 2009). Cambridge, Massachusetts, USA on 14-16 July 2009.
19. Musić, I. ,2007: Morfološka raščlamba motornih pila. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu,1-29.
20. Pausch, R., 1999: Versuchsergebnisse zu Produktivitaet und Pfleglichkeit hochmechanisierter Starkholzernte. 33. Internationales Symposium“Mechanisierung der Waldarbeit“, Zalesina-Delnice-Senj, Forstliche Fakultat Zagreb, Kroatien,1.-6.Juli 1999, Vortrag,1-18.
21. Pentek, M., 2008: Morfološka raščlamba obitelji forvardera. Diplomski rad, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1-28.
22. Poršinsky, T., 1996: Forwarder application to wood transportation in Croatia. Proceedings "Progresses in Forest Operations", Ljubljana, Slovenija, 133 – 141

23. Poršinsky, T., Stankić, I., Bosner, A., Pentek, T., 2008: Morphological Analysis of Chainsaws. Proceedings of the 3rd International Scientific Conference FORTECHNEVI 2008. Editors: Skoupy, A., Machal, P., Marecek, L., Brno, Mendel University of Agriculture and Forestry, 2008. 380-380.
24. Poršinsky, T., 2012: Pridobivanje drva 1 – Predavanja.
25. Sever, S., 1980: Istraživanje nekih eksploatacijskih parametara traktora kod privlačenja drva. Disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1 – 301.
26. Sever, S., Horvat, D., 1985: "Šumski zglobni traktor snage oko 60 kW", Studija, Zagreb, ZIŠ, str. 1-187.
27. Sever, S., 1986: Morphological characteristics of logging machines (Morfološke karakteristike strojeva eksploatacije šuma). Zbornik radova 18th IUFRO World Congress, Division 3, Forest operations and Techniques, Ljubljana s. 9-20.
28. Sever, S., Knežević, I., 1991: Form index as a possible criterion for classification off-road vehicles. 5th European Conference ISTVS, Budapest, Volume II, 468 – 476.
29. Sever, S., Horvat, D., 1992: Skidders and forwarders data base as source and help in determining morphological relationships. Proceedings of IUFRO workshop „Computer supported planning of roads and harvesting“, Feldafing, Germany, 196 – 200.
30. Sever, S., Horvat, D., 1992: Logging wheeld tractor data bank for assistance in machine family evaluation. Proceedings of IUFRO – IUFRO workshop „Computer supported planning of roads and harvesting“, Feldafing, Germany, 281-288.
31. Sever, S., Horvat, D., 1997: Choosing and Application of Forest Soft Machines, 7th European ISTVS Conference, 7-10. October, 1997, Ferrara, Italy, 549-556.
32. Šušnjar, M., 1998: Istraživanje ovisnosti nekih tehničkih značajki iverača morfološkom raščlambom. Mehanizacija šumarstva. 23 (3-4), 139-150.
33. Šušnjar, M., Horvat, D., Grahovac, I., 2007: Morfološka raščlamba šumskih hidrauličnih dizalica. Nova mehanizacija šumarstva 28: 15 – 26.
34. Šušnjar, M., Borić, D., 2008: Morfološka raščlamba farmerskih vitala. Nova mehanizacija šumarstva 29: 29 – 35.
35. Uusitalo, J., 2010: Introduction to Forest Operations and Technology. JVP Forest Systems Oy and Jori Uusitalo, Hameenlinna, 166-171.